

# 防音居室における空気・熱環境の実測調査

## その1

森山正和，中根芳一，横田圭，宮崎竹二，山本ふみ子

## A Study of Air and Thermal Environment in noise-insulated Rooms

### Part 1

MASAKAZU MORIYAMA, YOSHIKAZU NAKANE, KEI YOKOTA,  
TAKEJI MIYAZAKI, FUMIKO YAMAMOTO.

### 1. はじめに

工場，自動車，航空機等の騒音が，ますます大きな社会問題となっている。騒音の発生源における解決が原則であるが，その補助的手段として建築物の防音化がある。一般に，住宅に対して防音処理を施すと，居室が気密にまた，断熱的になりやすい。空調設備が十分であれば，空気・熱環境としては問題は少なくなるが，しかし，①冬季に，一般に使われている灯油，ガス・ストーブで直接暖房を行う時の室内空気汚染，②夏季における換気及び室温上昇を防ぐ冷房方法の2点が特に問題となる。本論文は，住宅に防音処理を施す場合，空気・熱環境を理想的に維持するための基礎資料の一部として，実際に，防音処理された居室において，各種開放型ストーブを用いて暖房を行い，室内の熱環境及び空気汚染の状態を調査したものである。

### 2. 調査概要

調査対象住宅は，いずれも大阪国際空港周辺に位置しており，防音処理は家屋全体ではなく，居室単位で行われた。外部に面した開口部は，ガラス厚5mmの2重アルミサッシ，他の部屋に面した開口部は，防音引戸ないし，防音ドアで，壁・天井の断面を図1に示す。調査対象居室の概要を表1に示し，調査方法を表2に示す。各居室には住宅用の全熱交換型換気扇が1台ずつ備えつけられている。実測の設定条件は，暖房器具の種類\*と燃焼の程度及び換気扇の作動状態の組合わせによりなっている。調査期間は昭和48年3月15日～4月2日迄の19日間で，1日を昼間（9:00～21:00）と夜間（21:00～9:00）の2回に分け，半日単位の実測は更に換気扇の状態により4回の実験単位に分けられ，1回の実験単位は3時間を限度として，温度が定常状態になるまで行った。

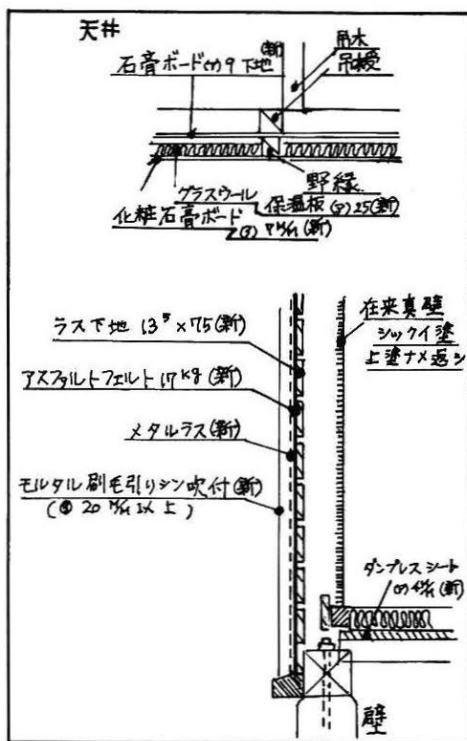


図1 防音居室の天井・床・壁の断面図

以上の如く，測定条件として変化させたものに，①室内・外気温度差，②ストーブ種類（灯油，プロパン，都市ガス）及び燃焼程度（強，弱），③換気扇の状態（OFF，弱，中，強）がある。図2に解析の方針を示す。

表1 調査対象居室の概要

居室の記号	家屋の概要	対象居室	床面積 (㎡)	天井高 (m)	室容積 (㎡)	調査期間 (昭和48年)
H	木造平屋一戸建	和室8帖(防音室)	15.5	2.4	37.5	3月15日～19日
F-W	木造平屋一戸建	和室4.5帖(防音室)	10.7	2.4	25.8	3月19日～24日
F-Y		洋室(防音室)	19.1	2.7	51.5	
T	木造平屋4戸連続(端)	和室6帖(防音室)	11.7	2.5	28.8	3月24日～26日
N-B	木造平屋一戸建 (防音実験住宅)	和室6帖(防音室)	11.0	2.4	26.3	3月26日～4月2日
N-I		和室6帖(一般室)	11.0	2.4	26.3	

表2 実測調査方法

調査項目	測定方法	使用機器
1 換気量	石油・ガス・ストーブにより、CO <sub>2</sub> を発生させ、単位時間当りのCO <sub>2</sub> 濃度上昇より換気量を求める、またストーブを燃焼させない場合は、CO <sub>2</sub> ガスボンベを用いてCO <sub>2</sub> ガスを一定量発生させ、減衰状態より換気量を求める。	○CO <sub>2</sub> 赤外線分析計 ○ペンレコーダー ○CO <sub>2</sub> ボンベ ○ダグラス・バッグ
2 汚染	暖房器具としてガス及び石油ストーブを使用し、換気扇の状態を変化させて、COガス、じん埃の濃度を測定する。	○CO赤外線分析計 ○ペンレコーダー ○テープ・エア・サンプラー
3 室内温度分布	サーモ・カップル(Cu-Co, 0.3mm)を使用し、室内外温度差、水平・垂直分布を測定。実測期間中、各居室で同一の位置において連続測定。	○サーモ・カップル ○12打点式記録計 ○支柱
4 室内気流分布	かとり線香の煙により、気流の方位を観測し、熱線風速計により微風速を測定。水平方向8点程度。	○熱線風速計

### 3. 調査結果

いる事が示されている。

3-1 換気回数 換気回数の計算は次の如く行った。  
まず、表3に示す如くCO<sub>2</sub>発生量を仮定し、次式によりコンピュータを利用し計算した。

$$C_{rt} = C_o + (C_{ro} - C_o) e^{-nt} + (1 - e^{-nt}) \frac{M}{nV} \dots (1)$$

(1)式を変形して

$$n = \frac{M}{V} \cdot \frac{1 - e^{-nt}}{\{(C_{rt} - C_o) - (C_{ro} - C_o) e^{-nt}\}} \dots (2)$$

n: 換気回数 (回/h) V: 室容積 (㎡) M: CO<sub>2</sub>発生量 (㎡/h) C<sub>o</sub>: 外気CO<sub>2</sub>濃度 (㎡/㎡) C<sub>ro</sub>, C<sub>rt</sub>: 実験開始前 (t=0) 及びt時間後の室内CO<sub>2</sub>濃度 (㎡/㎡)

(2)式を利用し、繰り返し計算により6分毎のCO<sub>2</sub>濃度データから計算を行った。また、ストーブの燃焼を行わない場合には、CO<sub>2</sub>ガスを室内に放出し、濃度の減衰により換気回数を求めた。

換気回数の計算結果の平均値を表4に示す。この結果から、防音室は一般室の約 $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{2}{3}$ に換気回数が減少して

図-2 実測調査解析の方針

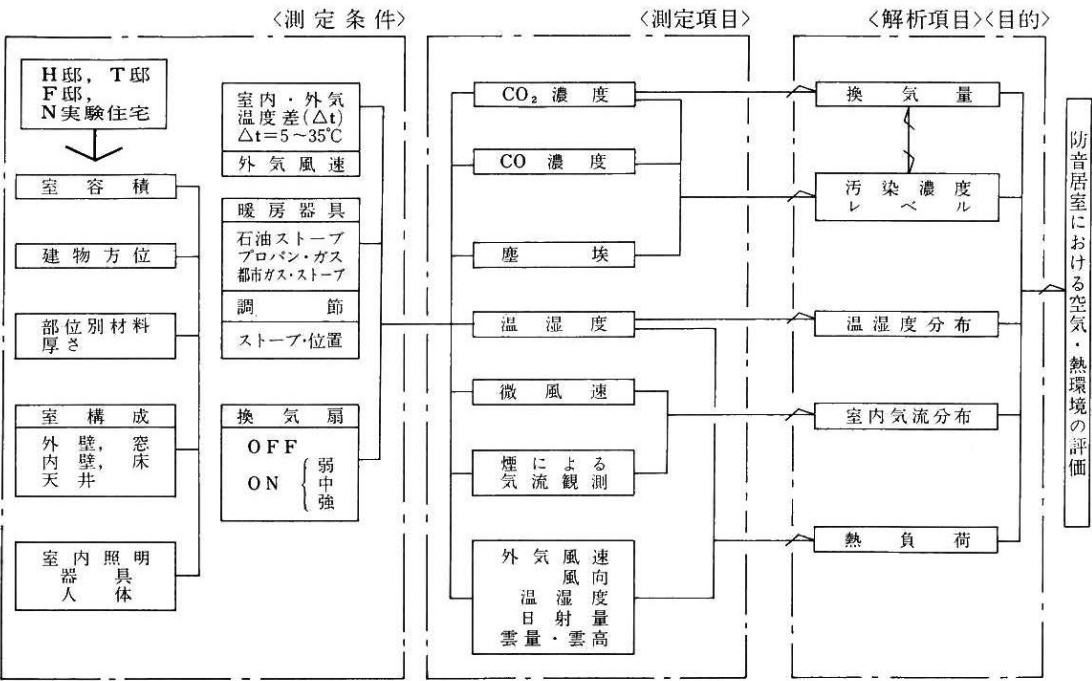


表3 燃料燃焼による発熱量及びCO<sub>2</sub>発生量

	発 熱 量 H	CO <sub>2</sub> 発生量M
灯 油	11,000kcal/kg	1.89m <sup>3</sup> /kg *1
L.P.ガス	24,270kcal/m <sup>3</sup>	3.07m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *2
都市ガス	4,500kcal/m <sup>3</sup>	0.608m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *3

(注) \*1. 実測に使用した石油ストーブの燃焼実験により求めた。\*2. プロパンガスC<sub>3</sub>H<sub>8</sub>の燃焼過程より算出。\*3. 大阪ガス資料による。

一般に換気量は、室内外温度差や外部風速により影響され、その関係を求めた若干の実測例が発表されている<sup>⑧</sup>。本実測では、期間中全般的に外部風速が弱く、風速との関係は明確でなかった。また、室内外温度差と換気回数との関係の一例を図3に示す。若干の傾向はあらわれているが、なお、明確ではない。この関係の考察については、第2報夏季調査において詳述する予定である。

次に、換気扇の有効機械換気量を示す指標として、次式で表れされる換気能率を考えてみる。

表4 換気回数の平均値

換 気 扇	FY (51.5m <sup>2</sup> )		FW (25.3m <sup>2</sup> )		T (28.8m <sup>2</sup> )		NI (26.3m <sup>2</sup> )	
	換気回数	△t	換気回数	△t	換気回数	△t	換気回数	△t
OFF	0.7回/h (36.1)	19°	1.7回/h (43.9)	19°	1.8回/h (51.8)	18°	1.6回/h (42.1)	24°
弱	1.2 (61.8)	17°	2.0 (51.6)	17°	3.1 (89.3)	18°	2.2 (57.9)	27°
中	1.4 (72.1)	23°	1.9 (49.0)	23°	4.4 (126.2)	17°	3.0 (78.9)	25°
強	1.9 (97.9)	17°	3.1 (80.0)	17°	4.5 (129.6)	20°	3.2 (84.2)	23°

\*この表の数値は、ストーブ燃焼時の換気回数及び室内外温度差△tを平均したものである。( )内は換気量(m<sup>3</sup>/h)である。但し、換気回数計算値は、床上150~200cmの測定値からの計算値である。

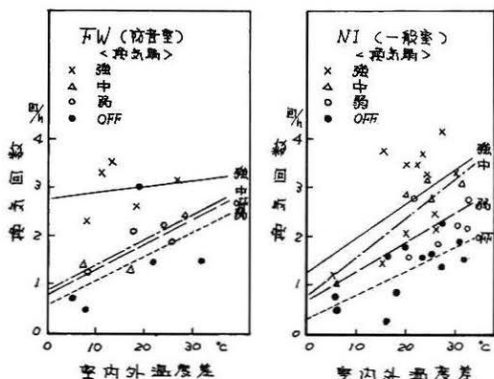


図-3 換気回数と室内外温度差

$$\text{換気率} = \frac{(\text{換気回数} - \text{自然換気回数}) \times \text{室容積}}{\text{換気扇の性能風量}} \times 100 \quad \dots\dots(3)$$

換気扇の性能風量はカタログ値を使用し、図3を利用して室内外温度差20℃のときの換気率を求めた。表5に示す如く、換気率は30%前後ときわめて低く、これは①換気扇内部における短絡、②吹出、吸込口付近における短絡、③ダクト引きにおける圧力損失による風量の低下等が考えられ、換気扇の作動状態は十分なものではなかったといえる。

3-2 室内垂直温度分布 室内垂直温度分布は、室の大きさ、形状、周壁の熱貫流抵抗や熱容量、その構成、及び暖房方法（熱源の大きさや位置等）など、きわめて多くの要素に影響される。本実測においては、図4に示す位置関係で測定を行い、室温がほぼ定常に達した時点におけるデータを解析に使用した。垂直温度分布の測定点は、天井直下と床面直上を含む5～8点で、居室により若干異なる。

表5 換気率

換気扇の状態と性能	換気率 (%)	
	FW	NI
強 (120m³/h)	30.1	30.7
中 (85m³/h)	9.1	30.9
弱 (48m³/h)	21.5	32.9

但し、室内外温度差20℃のとき

図5に示す如く、上下温度差は防音室の方が小さく、断熱性が一般室と比較してよいことがわかる。

次に、居室の断熱力を表わす指標として一般に用いら

れる室内垂直上下温度差と室内外温度差の比 $\gamma$ を求めてみる<sup>⑤</sup>。すなわち、

$$\gamma = \frac{\theta_c - \theta_f}{\theta_i - \theta_o} \quad \dots\dots(4)$$

但し、 $\theta_c$ : 天井直下の温度  
 $\theta_f$ : 床面直上の温度  
 $\theta_i$ : 床上1.5mの温度  
 $\theta_o$ : 外気温

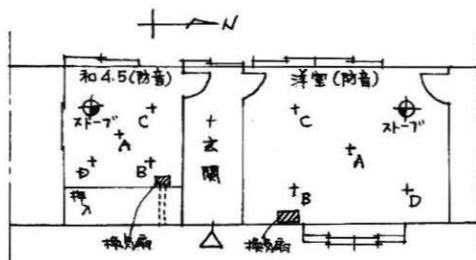


図-4 ストーブ位置図 (F邸の例)  
 +印: 測定点 (温度, CO, CO<sub>2</sub>等)

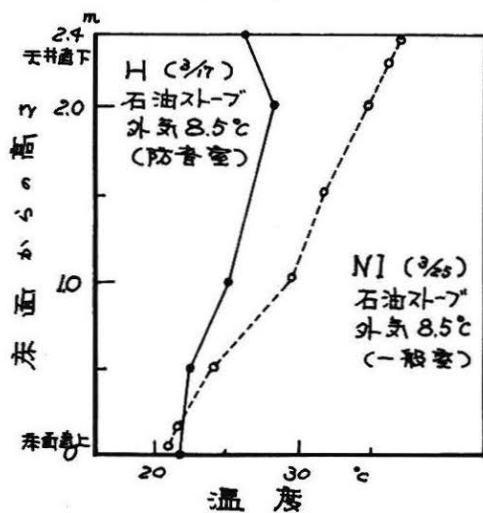


図-5 垂直温度分布

図6に示す如く、 $\gamma$ は一般室で0.9、防音室で0.4程度であり、一般に $\gamma$ が小さい程断熱性がよいといえる。しかし、他の文献<sup>⑥</sup>に示されている数値よりかなり大きな値であり、居室の断熱性がよくても、暖房方法によっては上下温度差が大きくなる事を示している。また、この事は、床上0.5mと1.0mの測定値から求めた温度勾配と室内外温度差の関係を示した図7にもあらわれている。両居室とも室内外温度差が20℃のとき、温度勾配が10℃/m前後もあり、ReinmannやWHOの許容限度より、はるかに大きい\*\*。

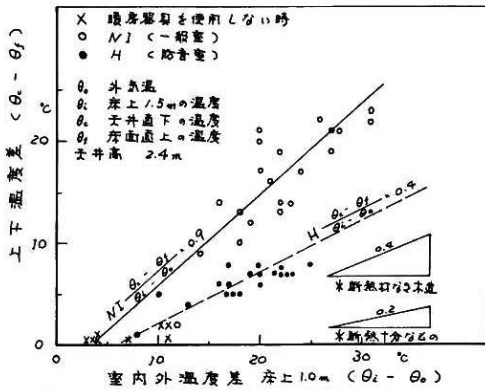


図6 上下温度差と室内外温度差 \*は 堀江清助氏提供

3-3 室内気流分布 換気扇の作動状態が異なるにもかかわらず、室内気流速度は殆んど差がなく、居室中央の気流速度は0.12~0.15m/sであった。測定方法、測定位置に工夫をこらす必要がある。

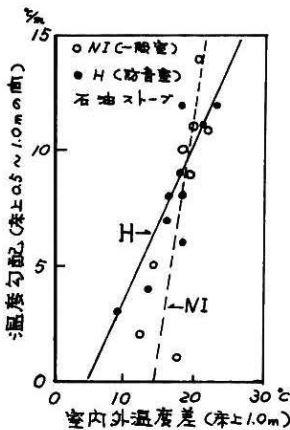


図-7 温度勾配と室内外温度差

3-4 一酸化炭素(CO)汚染 気密性が要求される防音居室において、開放型ストーブを用いた時、特に問題となるのはCO汚染である。防音居室と一般居室とを比較するために、燃料別の実験終了時CO濃度(実験開始後2~3時間の濃度)を図8に示す。燃料消費量、実験時間を考慮に入れていないが、防音居室が、一般居室より換気回数が少ないため、実験終了時CO濃度が高くなっている。また、汚染の程度は都市ガス、プロパンガス、石油の順であることも示されている。

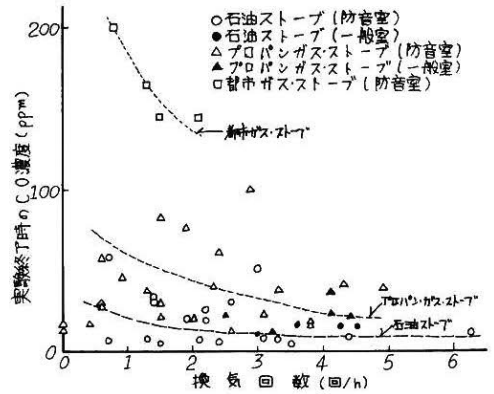


図-8 換気回数と実験終了時のCO濃度との関係

実測結果の一例として、防音居室であるF邸洋室(容積51.5 $\text{m}^3$ )における、換気扇の状態を変化させた時のCO濃度変化、CO発生量の変化、CO発生量に対するCO<sub>2</sub>発生量の比の変化を、それぞれ燃料別に分けて図9~11に示す。但し、CO<sub>2</sub>発生量は、一実験中一定であると仮定して、表3の数値と燃料消費量から算出した。CO発生量は次の(5)式から6分毎に求めた。その際、換気回数nは、6分毎の高さ150cmまたは200cmのCO<sub>2</sub>濃度から求めた。

$$M = \frac{C_{rt} - C_{ro} e^{-nt}}{1 - e^{-nt}} \times nV \times 10^{-6} \dots\dots\dots (5)$$

M: CO発生量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), n: 換気回数 (回/h) V: 室容積 ( $\text{m}^3$ ),  $C_{ro}$ : t = 0におけるCO濃度 (ppm)  $C_{rt}$ : t時間後のCO濃度 (ppm)

図9~11において、CO発生量とCO<sub>2</sub>発生量の比は初期1時間ほど不安定であり、やがて安定してゆく。特に都市ガス・ストーブについては、上昇しつつ安定してゆく。CO発生量と空气中O<sub>2</sub>濃度の関係については、文献⑨~⑪に指摘されており、O<sub>2</sub>濃度の減少によるCO発生量の増加が予想される。しかし、O<sub>2</sub>濃度を測定していないため、本実測において明確ではないが、CO<sub>2</sub>濃度から計算するとO<sub>2</sub>濃度は20%以上であり、直接影響していないと思われる。

次にCO<sub>2</sub>発生量とCO発生量の関係を図12に示す。CO発生量は、実験終了前1時間の濃度変化より求めた。

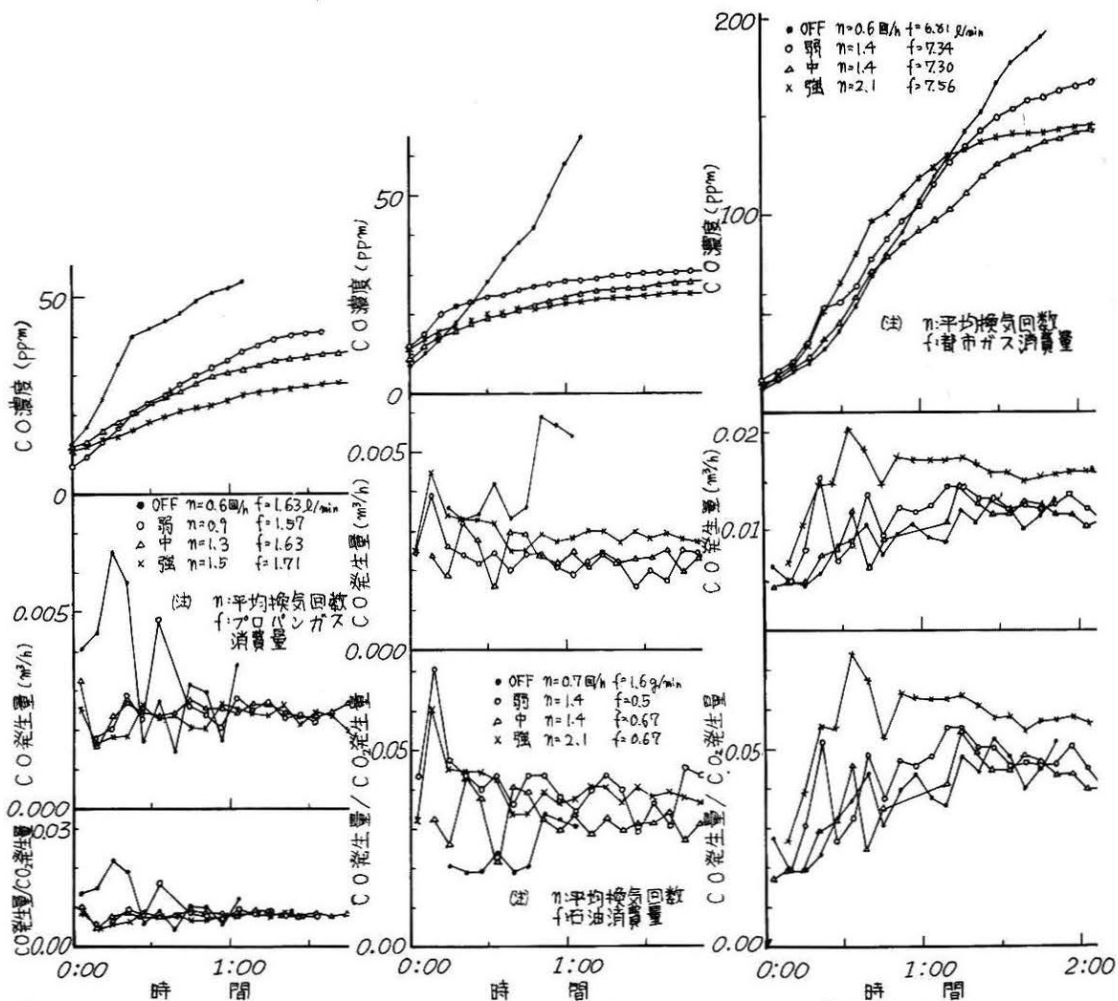


図-9 F邸洋室 (プロパンガス・ストーブ) 図-10 F邸洋室 (石油ストーブ) 図-11 F邸洋室 (都市ガス・ストーブ)

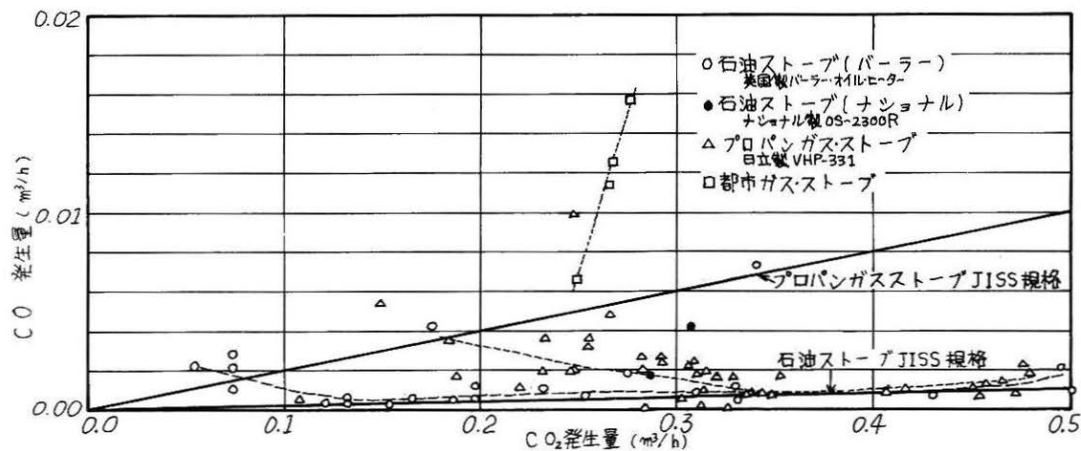


図-12 CO<sub>2</sub>発生量とCO発生量の関係

石油の場合、CO<sub>2</sub>発生量を0.1m<sup>3</sup>/h（石油消費量では1g/min）以下、プロパン・ガスの場合0.3m<sup>3</sup>/h（プロパン・ガス消費量では1.6ℓ/min）以下に絞るとCO発生量が増していくことが大体の傾向として示されている。また、ここでも汚染の程度が、都市ガス、プロパン・ガス、石油の順である。（表6参照）

表6 各種燃料のCO発生量とCO/CO<sub>2</sub>(中央値)

	CO発生量	CO/CO <sub>2</sub>	サンプル数
都市ガス	0.0121m <sup>3</sup> /h	0.0436	4
プロパンガス	0.0017m <sup>3</sup> /h	0.0048	40
石油	0.0010m <sup>3</sup> /h	0.0030	24

#### 4. まとめ

(1)昼夜100回前後に及ぶ実測結果は、それぞれ実験条件が異なり、CO汚染の程度を同等に比較することはできない。ここでは、暖房負荷 → ストーブ燃料消費量 → CO発生量 → CO汚染濃度 という流れでモデル計算を行ない、汚染の程度を比較してみる。

まず、夜間の比較的外気温 $t_o$ が安定し、暖房中の室温 $t_i$ も定常状態に近い時、次式により居室全体の熱貫流量 $K$  (kcal/h・℃)を求めた。

$$H - nV(t_i - t_o) \times 0.28 = K(t_i - t_o) \quad \dots\dots\dots (6)$$

但し、 $H$ :ストーブ発熱量(kcal/h)

図13に示す如く、F邸洋室における $K$ の値は平均89.4 kcal/h・℃であった。

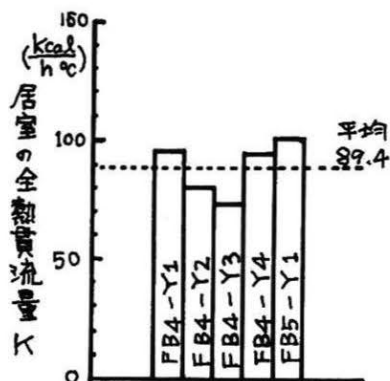


図-13 F邸洋室  
日射を除いた全熱貫流量  
(夜間の実測より作成)

次に夜間、すなわち、日射のない時を想定し、外気温 $t_o = 0^\circ\text{C}$ 、室温 $t_i = 20^\circ\text{C}$ として、暖房負荷 $q$ を次式により算出する。

$$q = 89.4(t_i - t_o) + nV(t_i - t_o) \times 0.28 \quad \dots\dots\dots (7)$$

プロパン及び石油ストーブについて、CO発生量を図12を使用して求め、次式より室内CO濃度 $Cr$ を算出した。

$$Cr = (1 - e^{-nt}) \frac{M}{nV} \times 10^6 \quad (\text{ppm}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

但し、居室の換気回数は、換気扇の状態により4段階に変化させ、この値は実測結果から仮定した。

実測に使用したストーブにおけるモデル計算ではあるが、図14、15から石油、プロパンガス・ストーブともかなり高濃度を示し、石油ストーブならば点火後45分、プロパン・ストーブならば、15分位には10ppmをこえてしまうことになる。

(2)実測対象居室に取り付けられていた換気扇は、気流の短絡などが予想され、室内換気に有効に働いている風量が少ないことが明らかとなり、改善が必要とされた。

(3)いずれにせよ開放型暖房器具の使用は避けるべきであり、換気を十分考慮した暖房方式に切換えなければならないといえよう。

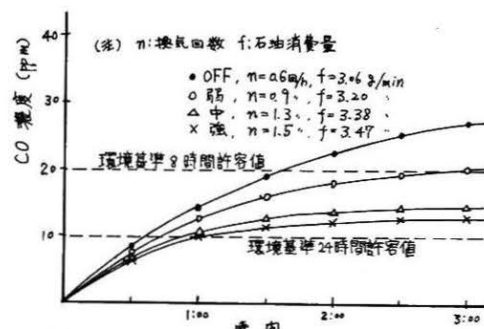


図-14 予想される石油ストーブによるCO汚染

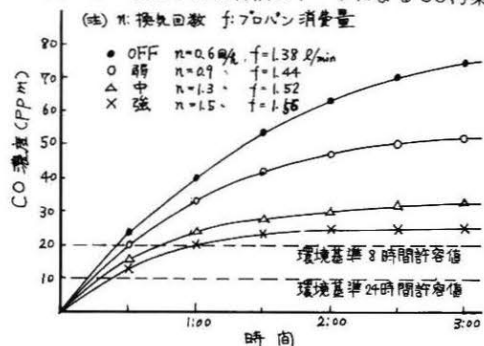


図-15 予想される  
プロパンガス・ストーブによるCO汚染

## 5. おわりに

実測調査にあたり、調査対象家屋の方に数々の迷惑をおかけしたにもかかわらず、協力して下さい、また、終始御指導いただいた大阪市立大学、石堂正三郎教授、大阪大学、橋崎正也助教授、そして、調査及び解析に協力していただいた大阪市立大学、大橋えり氏その他学生、阪大技官の方々に深甚の謝意を表わします。なお、調査の際、航空公害防止協会から様々な御便宜をいただき、厚くお礼申し上げます。

\* 実測に使用したストーブの型式は以下の通りである。

表 8

燃 料	記号	型 式	器具使用家屋
石 油	S 1	英国製 バーラー・オイルヒーター	全家屋
	S 2	ナショナル製 OS-2300R	H 邸
	S 3	ナショナル製 OS-1701R	N 邸
プロパン ガ ス	P 1	ナショナル製 PS-4000N④	全家屋
	P 2	日立製 赤外線ストーブ VHP-331	同 上
都市ガス	C 1	大阪ガス 赤外線ストーブ	F邸洋室

\*\* 文献⑦によれば、居室内の上下温度差について Reinmannらは、床面と居住域高さとの温度差が暖房期で 2.0℃を許容限度とし、WHOの住居衛生基準では、150cmの高さで3.0℃を越えてはならないとしている。

## 参考文献

- ①石原正雄：建築換気設計 朝倉書店1969
- ②日本建築学会編：設計計画パンフレット18、換気設計：彰国社 1965
- ③同上：同上10 住宅の暖房設計：同上1960
- ④同上：同上2 住宅の保温設計：同上1957
- ⑤渡辺要編：建築計画原論Ⅱ、Ⅲ 丸善1965
- ⑥橋崎正也、中根芳一：冬季におけるアパートの換気量と外部風速との関係  
日本建築学会論文報告集 1964

- ⑦本間慶一：ビルの室内環境調査（その1）  
日本建築学会大会梗概集 1972
- ⑧小林陽太郎、吉沢晋、他：暖房器具の必要換気量と効率  
日本建築学会大会梗概集 1972
- ⑨小林陽太郎、吉沢晋、他：煙突なしストーブの必要換気量について  
日本建築学会論文報告集 1963
- ⑩同上（第2報）日本建築学会論文報告集 号外 1965
- ⑪同上（第3報）日本建築学会大会学術講演梗概集 1968
- ⑫同上（第4報）日本建築学会大会学術講演梗概集 1969
- ⑬山本ふみ子、他：防音居室における空気・熱環境の実測調査（その1）  
日本建築学会近畿支部研究報告集 1973
- ⑭宮崎竹二、他：同上（その2）
- ⑮山本ふみ子、他：防音居室における空気・熱環境の実測調査（その1）  
日本建築学会大会学術講演梗概集 1973
- ⑯宮崎竹二、他：同上（その2）